



(11)

**Auslegeschrift 24 45 532**

(21)

Aktenzeichen: P 24 45 532.1-51

(22)

Anmeldetag: 20. 9. 74

(43)

Offenlegungstag: —

(44)

Bekanntmachungstag: 8. 1. 76

(30)

Unionspriorität:

(32) (33) (31)

(54)

Bezeichnung:

Gewellter umhüllter Faserlichtleiter

(71)

Anmelder:

AEG-Telefunken Kabelwerke AG, Rheydt, 4050 Mönchengladbach.

(72)

Erfinder:

Franke, Hermann, Dr.rer.nat., 4051 Korschenbroich; Kückes, Willi,  
5144 Wegberg; Martin, Wolfgang, Dipl.-Ing., 4070 Rheydt

(56)

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

Marcuse: Light Transmission Optics, 1972,

Kao. 9.6

Bell System Technical Journal, Vol. 53, Nr. 6,

S. 1079

## Patentansprüche:

1. Faserlichtleiter, insbesondere Glasfaserlichtleiter für ein Lichtleitkabel, mit ihm umgebender Schutzhülle, dadurch gekennzeichnet, daß der Faserlichtleiter (1) in einer hohlen rohrförmigen Schutzhülle (2) in im Prinzip regelmäßigen, an der inneren Rohrwandung in Abständen anliegenden Wellung von solcher Wellenlänge angeordnet ist, daß die wellungsbedingten Abstrahlungsverluste gegenüber den faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein sind.

2. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine nur in einer einzigen Ebene verlaufende Wellung.

3. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine in mehreren Ebenen verlaufende Wellung.

4. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch seine nur periodisch regelmäßige Wellung.

5. Faserlichtleiter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er in seiner gewellten Form in der hohlen rohrförmigen Schutzhülle (2) fortlaufend oder in Abständen zusätzlich festgelegt ist.

6. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er auf einem in die Schutzhülle (2) eingebrachten an sich bekannten bandförmigen Träger (3) befestigt ist.

7. Faserlichtleiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß er auf dem bandförmigen Träger (3) mittels in Abständen aus ihm ausgestanzter Laschen (4) befestigt ist.

8. Faserlichtleiter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß er auf dem bandförmigen Träger (3) mittels in Abständen in Schlitze in ihn eingesteckter U-förmiger Bügel befestigt ist.

9. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er in der Schutzhülle (2) mit an ihrer Innenwandung in Abständen vorzugsweise paarweise angebrachter Nocken (5) festgelegt ist.

10. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er mit in die Schutzhülle (2) in Abständen durch Löcher (7) in ihrer Wandung eingebrachte Schaumstoffkörper (6) festgelegt ist.

11. Faserlichtleiter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß er durch zusätzliche periodisch auf ihn aufgesteckte mit exzentrischen Kerben (9) versehene Scheiben (8) in der Schutzhülle (2) festgelegt ist.

12. Verfahren zur Herstellung eines gewellten umhüllten Faserlichtleiters nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der in noch nicht gewelltem Zustand von einer Vorratsspule (11) über einen Durchhangregler (12) ablaufende vorgefertigte Faserlichtleiter (1) mittels eines um einen Drehpunkt hin- und herschwenkenden Verlegegerätes (13) unter Wellenbildung in einen die hohle rohrförmige Schutzhülle (2) erzeugenden Extruderspritzkopf (16) eingeschoben und schließlich mit ihr zusammen kontinuierlich abgezogen wird.

Nachrichtenübertragungstechnik hat dahin geführt, daß neben anderen festen und flüssigen Stoffen vorzugsweise Glasfasern oder Glasfäden — jedenfalls lange dünne biegsame künstlich erzeugte Gebilde aus Glas — als Lichtleiter benutzt werden. Die Fortschritte in der Technologie verlustarmer Gläser und Quarze haben weiter dahin geführt, daß nach Lichtleitern begrenzter Länge wie z. B. für Endoskope und Übertragungs- und Verstärkungsgeräte auch Lichtleiter unbegrenzter Länge, z. B. in Kabelform, als sogenannte Licht- oder besser gesagt Lichtleitkabel entwickelt werden. Dabei gibt es neben blanken auch sogenannte ummantelte Lichtleiter bei denen ein einzelner oder ein Bündel von mehreren zylindrischen lichtdurchlässigen dielektrischen Körpern vorzugsweise aus Glas, in ein umhüllendes Medium mit einer anderen optischen Brechzahl eingebettet ist wobei die bei bestimmten Brechzahlverhältnissen mögliche Totalreflexion an der Grenze zwischen Medien verschiedener Brechzahl ausgenutzt werden kann. In übertragungstechnischer Hinsicht wird noch zwischen Monomode- und Multimode-Lichtleitern unterschieden.

Es ist ferner schon seit langem bekannt, Glasfaserlichtleiter unabhängig von ihrem eigenen Aufbau einzeln oder zu mehreren gemeinsam mit einer äußeren flexiblen Schutzhülle zu umgeben oder sie wenigstens auf einem zusätzlichen vorzugsweise bandförmigen Träger oder auch zwischen zwei solchen Trägern zu befestigen, insbesondere aufzukleben.

Auf beiden Wegen soll mechanischen Beschädigungen der Glasfaserlichtleiter vorgebeugt werden, die zwar, wie bekannt, eine hohe Zerreißfestigkeit, aber nicht ausreichende Scherfestigkeit aufweisen. Als Schutzhülle und auch als Trägerbänder sind vor allem solche thermoplastischen Kunststoffe wie Polyäthylene, Polyester, Polyamide oder auch Polyacrylate in Betracht gezogen worden. Daneben sind für Schutzhüllen auch lackierte oder mit Harz getränkte und dann ausgehärtete Gewebesläuche bekannt.

Neben der dichten Auflegung der äußeren — auch mehrschichtigen — Schutzhüllen auf den oder die Glasfaserlichtleiter sind auch Hohlräume um sie belassende Schutzhüllen bekannt, insbesondere mit Abstand schaffenden inneren, z. B. nockenartigen Vorsprüngen der Schutzhüllen oder mit zusätzliche einfachen oder auch mehrfachen Abstandfadenwendel zwischen dem Glasfaserlichtleiter und der dann innen glatten Schutzhülle. Zu den bekannten Hohlraumbauformen gehören ferner auch die fortlaufende Umhüllung eines Glasfaserlichtleiters mit einer um ihn herum ausgepreßten Zellpolyäthylenschicht und die Hohlräume belassende Anordnung von mehreren Glasfaserlichtleitern zwischen den Armen eines sternförmig profilierten zentralen und von einer äußeren Kunststoffhülle umgebenen Kunststoffkerns.

Bei allen diesen zahlreichen bekannten Bauformen sind die Glasfaserlichtleiter möglichst gerade gestreckt innerhalb ihrer Schutzhüllen und/oder auf ihre zusätzlichen Trägern angeordnet. Diese Anordnung beruht offensichtlich auf dem Bemühen, Krümmungen der Glasfaserlichtleiter in einem Lichtleitkabel möglichst zu vermeiden, um auf diese Weise die Übertragungsdämpfung zu verringern, obwohl es auf der anderen Seite bekannt ist, daß in Abhängigkeit von der bei der Übertragung benutzten Lichtwellenlänge Krümmungen oberhalb bestimmter, in der Größenordnung von Zentimetern liegender Krümmungsradien für die Lichtführung unschädlich sind.

Die schon seit langer Zeit theoretisch bekannte Verwendung von geleitetem Licht als Nachrichtenträger in Ergänzung oder Ablösung der elektrischen

Von diesem Stand der Technik ausgehend beruht die Erfindung auf der Erkenntnis, daß die bisher bekannten Bauformen von Faserlichtleitern und insbesondere Glasfaserlichtleitern nicht befriedigen und sich daraus die Aufgabe der Erfindung als Suche nach einer solchen besseren Bauform ergibt, bei der die Faserlichtleiter einerseits möglichst frei von mechanischen Spannungen und andererseits möglichst geschützt gegen von außen auftretende Kräfte bei der Herstellung, Verlegung und beim Betrieb von Lichtleitkabeln sind.

Zur Lösung dieser mehrschichtigen Aufgabe wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, daß der Faserlichtleiter in einer hohlen rohrförmigen Schutzhülle in im Prinzip regelmäßigen an der inneren Rohrwandung in Abständen anliegenden Wellen von solcher Wellenlänge angeordnet ist, daß die wellungsbedingten Abstrahlungsverluste gegenüber den sonstigen faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein sind.

Der Faserlichtleiter soll somit nicht mehr wie bisher allgemein angestrebt möglichst gerade gestreckt in seiner Schutzhülle liegen, sondern in z. B. Sinuswellen bildenden Windungen innerhalb des von der rohrförmigen Schutzhülle umschlossenen Hohlraumes. Bei einer nur in einer einzigen Ebene verlaufenden Wellung liegen nur die Wellenberge des Faserlichtleiters an der inneren Rohrwandung der Schutzhülle an. Es ist jedoch auch möglich, den Faserlichtleiter in mehreren Ebenen zu wellen und ferner die Wellung nur periodisch regelmäßig zu gestalten. Zwischen gewellten Abschnitten können somit auch ungewellte oder in einer anderen Ebene gewellte Abschnitte liegen.

Wie klein die Wellenlängen bzw. Makrobiegungen oder, anders ausgedrückt, die Krümmungsradien der Wellenzüge des Faserlichtleiters gemäß der Erfindung sein dürfen, um übertragungstechnisch gegenüber den sonstigen faserspezifischen (d. h. beispielsweise durch Mikrobiegungen, Inhomogenitäten oder die Werkstoffe bedingten) Verlusten vernachlässigbar klein zu sein, läßt sich aus zwei vorveröffentlichten Arbeiten von Dietrich Marcuse ableiten, in denen er sich mit den durch Biegungen eines Faserlichtleiters bedingten Abstrahlungsverlusten theoretisch beschäftigt hat, nämlich im Kapitel 9.6, insbesondere S. 406, des 1972 erschienenen Buches »Light Transmission Optics« im Verlag Van Nostrand Reinhold Company, New York, und in dem 1974 erschienenen Aufsatz »Bent Optical Waveguide With Lossy Jacket« in Vol. 53, Nr. 6, S. 1079 ff., von The Bell System Technical Journal. In diesen Arbeiten ist zwar der Versuch unternommen, die Größe der durch Biegungen eines Faserlichtleiters bedingten Abstrahlungsverluste unter Benutzung der Größen  $R$  für den Krümmungsradius,  $d$  für den Faserkernradius (bzw. die halbe Breite eines Streifenleiters) und  $D$  für den Fasermantelinnenradius und des Verhältnisses  $R/d$  bzw. reziprok  $d/R$  zu berechnen. Es ist jedoch keine Folgerung in der Richtung gezogen worden, daß mit einer bewußt gewollten fortlaufenden Wellung die Aufgabe gelöst werden kann, durch mechanische Spannungen bedingte oder hervorgerufene, für die Übertragungsgüte ebenfalls schädliche Verformungen oder Verdrehungen des Faserlichtleiters zu vermeiden.

Die rechnerische Ableitung bzw. Nachrechnung an Hand der Arbeiten von Marcuse ergibt, daß die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste dann gegenüber den faserspezifischen Dämpfungsverlusten vernachlässigbar klein bleiben, wenn die Relation zwischen Fasermantelradius  $D$  und Faserkernradius  $d$  nach der Formel  $(D-d)/d$  gleich oder vorzugsweise größer als 3

(d. h. möglichst groß) ist und ferner das Verhältnis von Faserkernradius  $d$  zu Krümmungsradius  $R$  gemäß  $d/R$  gleich oder vorzugsweise kleiner als  $10^{-3}$  (d. h. möglichst klein) ist.

Einige Zahlenbeispiele sollen diese Bedingungen erläutern. Für handelsübliche Fasern mit einem Kernradius  $d$  zwischen 10 und 15  $\mu\text{m}$  und bei einem Mantelinnenradius  $D$  zwischen 60 und 100  $\mu\text{m}$  ergeben sich einerseits für die Relation  $(D-d)/d$  Werte zwischen 3 und 9. Wenn man andererseits von einem Faserkernradius  $d$  von 10  $\mu\text{m}$  ausgeht, muß der Krümmungsradius  $R$  größer als 10 mm sein, damit das Verhältnis  $d/R$  kleiner als  $10^{-3}$  ist. Das bedeutet, daß die Wellenlänge der erfindungsgemäß vorgesehenen Wellung in Anbetracht der bei Faserlichtleitern möglichen kleinen Dimensionen in Zentimetergrößenordnung liegen kann. Allgemein gilt, daß sich die Abstrahlungsverluste für steigendes  $(D-d)/d$  bei konstantem  $d/R$  zu immer kleineren Werten verschieben. Die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste liegen bei den angegebenen Zahlenwerten wesentlich unter 1 dB/km. Bei Berücksichtigung der realisierbaren Brechungsindexwerte lassen sich brauchbare Lichtleitkabel mit Gesamtverlusten in der Gegend von 2 bis 3 dB/km herstellen, denen gegenüber die bieguingsbedingten Abstrahlungsverluste infolge der Wellung tatsächlich vernachlässigbar klein sind, weil sie wesentlich unter 1 dB/km liegen.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung besteht darin, daß die Faserlichtleiter in ihrer gewellten Form in der hohlen rohrförmigen Schutzhülle fortlaufend oder in Abständen zusätzlich festgelegt sind. Bei fortlaufender Festlegung können die Faserlichtleiter z. B. auf, wie zuvor erwähnt, an sich bekannten bandförmigen Trägern befestigt sein, die ungefähr so breit sind, wie die Rohrrinnendurchmesser. Die Festlegung der gewellten Faserlichtleiter in Abständen kann z. B. mittels in das Schutzhüllenrohr eingedrückter oder an seiner Innenwandung in, wie zuvor erwähnt, an sich bekannter Weise ausgeformter Nocken, Beulen od. dgl., mittels durch Löcher in das Schutzhüllenrohr eingebrachter Schaumstoffkörper begrenzter Länge oder mittels geschlitzter schmaler Scheiben erfolgen.

Der mit der Erfindung bei der Herstellung und Verlegung und beim Betrieb von Lichtleitkabeln erzielte technische Fortschritt besteht vor allem darin, daß die Faserlichtleiter in ihnen selbst auftretenden mechanischen Spannungen oder von außen einwirkenden Kräften infolge ihrer Wellenform elastisch federnd nachgeben können, ohne schwingungsgefährdet zu locker in der Schutzhülle zu liegen. Die in ihrer Größe von der gewählten Wellenform abhängige Verlängerung der Faserlichtleiter ist in Anbetracht ihrer minimalen Übertragungsämpfung kein den erzielten Fortschritt größerer Sicherheit beeinträchtigender Nachteil. Das gilt auch für den bei der Erzeugung der Wellung erforderlichen technischen apparativen Aufwand. Ein weiterer Fortschritt ergibt sich durch die Erfindung bei der in bekannter Weise möglichen kabeltechnischen Verarbeitung einer beliebigen Zahl von gewellten Faserlichtleitern zu Lichtleitkabeln bei der Verseilung zu Paaren, Vierern, Bündeln oder Lagen, auch zusammen mit bekannten elektrischen Übertragungs- und Versorgungsleitungen, und ihrer gemeinsamen äußeren Ummantelung und Armierung. Die erfindungsgemäß gewellten Faserlichtleiter vermögen in ihren Schutzhüllen allen Beanspruchungen insbesondere bei der kabeltechnischen Weiterverarbeitung ohne Beschädigung und vor allem ohne Bruchgefahr nachzu-

geben.

Mehrere Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in schematischer Form in der Zeichnung dargestellt, ohne daß die Erfindung auf diese Ausführungsbeispiele beschränkt sein soll. Es zeigt

Fig. 1 eine Anordnung zur wellenförmigen Verlegung eines Faserlichtleiters in einer Schutzhülle,

Fig. 2 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters auf einem Trägerband,

Fig. 3 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters mittels in Abständen paarweise aus der Schutzhülle nach innen eingedrückter Nocken,

Fig. 4 eine Befestigung eines gewellten Faserlichtleiters mittels in Abständen durch Löcher in der Schutzhülle eingebrachter Schaumstoffkörper,

Fig. 5 eine Befestigung mittels in Abständen auf einen gewellten Faserlichtleiter aufgesteckter geschlitzter schmaler Scheiben.

In allen Figuren bedeutet 1 die gewellte Faserlichtleiter und 2 die hohle rohrförmige Schutzhülle, die z. B. aus Polyäthylen oder einem anderen Thermoplast bestehen kann. In Fig. 1 ist der in üblicher Weise ausgebildete und kontinuierlich arbeitende Endabzug mit der Endabwicklung weggelassen.

In Fig. 1 läuft der noch nicht gewellte vorgefertigte Faserlichtleiter 1 von einer Vorratsspule 11 über einen Durchhangregler 12 zu einem um einen Drehpunkt in Achsenhöhe der Anordnung hin- und herschwenkenden Verlegegerät 13, das einen Raupenabzug 14 und ein Führungsrohr 15 enthält. An Stelle des Raupenabzugs kann auch ein anderer, z. B. nicht schwenkbarer Räderabzug oder Scheibenabzug verwendet werden und nur das Führungsrohr 15 hin- und herschwenken. Durch Abzug und die Schwenkbewegung wird die Einschiebung und wellenförmige Verlegung des Faserlichtleiters 1 in der in üblicher Weise mittels eines Extruderspritzkopfes 16 mit Pinole erzeugten hohlen Schutzhülle 2 bewirkt. Mittels einer Vakuumansaugung 17 wird die Schutzhülle 2 daran gehindert, im noch verformbaren warmen Zustand zusammenzusinken. Alle Bewegungen der ganzen Anordnung verlaufen synchron. Die Wellung in mehr als einer Ebene kann durch eine zusätzliche drehende Bewegung des hin- und herschwenkenden Verlegegerätes 13 erreicht werden.

In Fig. 2 ist der in gleicher oder ähnlicher Weise gewellt zu denkende Faserlichtleiter 1 auf einem ihn tragenden vorgefertigten Kunststoffband 3 mittels z. B. paarweise aus dem Band ausgestanzter Laschen 4 befestigt. Die Laschen 4 sollen in der Bandmitte quer zur Bandlängsachse und vorzugsweise parallel zum jeweils festzulegenden geraden Mittelstück der Wellung des Faserlichtleiters 1 stehen. Sie können auch um ihn herumgebogen sein oder eine die Fixierung des Leiters 1 auf dem Trägerband 3 verstärkende Sägezahnform über ihre ganze Breite oder mindestens ihrer Ränder aufweisen. An Stelle von ausgestanzten Laschen können

auch in Schlitz im Trägerband 3 z. B. unter Spannung eingesteckte kleine U-förmige Bügel, z. B. auch wieder mit Sägeform ihrer Schenkel, zur Befestigung des Leiters 1 verwendet werden. Das Trägerband 3 mit dem gewellt auf ihm befestigten Leiter 1 läuft dann in die synchron zur Trägerbandbewegung in gleicher oder ähnlicher Weise wie in Fig. 1 kontinuierlich erzeugte Schutzhülle 2 ein. Es empfiehlt sich, das Trägerband etwas schmaler als den Innendurchmesser der Schutzhülle 2 zu wählen.

In Fig. 3 ist der z. B. wieder in gleicher oder ähnlicher Weise in gewellter Form in die Schutzhülle eingebrachte Faserlichtleiter 1 in ihr mit an ihre Wandung innen in Abständen vorzugsweise ebenfalls paarweise angebrachter Nocken 5 festgelegt. Diese nach innen vorstehenden kleinen Nocken liegen wie beulenartige Vorsprünge an allen oder wenigsten ausreichend vielen Wellenbergen des Leiters 1 an. Sie lassen sich z. B. mit einem oder mehreren synchron zu den anderen Bewegungen im Takt arbeitenden notfall beheizten Druckstempeln durch deren Eindrückung in die gerade erst erzeugte noch verformbare Schutzhülle 2 von außen her erzeugen.

In Fig. 4 dienen zur Festlegung des Faserlichtleiters 1 in der Schutzhülle 2 Schaumstoffkörper 6, die durch die Schutzhülle in regelmäßigem Abstand je einer Wellenberg gegenüber angebrachte Löcher 7 eingebracht werden. Das Einbringen erfolgt vorzugsweise durch Einspritzung; es ist jedoch auch möglich, federnd vorgefertigte propfenartige Schaumstoffkörper durch die Löcher hindurch einzudrücken.

Als Schaumstoff eignet sich z. B. ein Polyurethan (PUR), das sich einspritzen und danach unter Zellenbildung aufblähend verfestigen läßt und dabei in der Umgebung eines Loches einen gegenüberliegende Wellenberg des Faserlichtleiters festlegt. Die äußere Form der Schaumstoffkörper 6 ist in Fig. 4 nur als Beispiel möglicher Varianten dargestellt. Auch die Anzahl und Reihenfolge der Schaumstoffkörper in der Wellenzug sowie ihre Erzeugung nur von einer Seite oder von mehreren Seiten her sind variabel.

Fig. 5 unterscheidet sich von Fig. 1 durch die zusätzliche periodische Aufsteckung von schmalen Scheiben 8, die mit exzentrisch in ihnen angebrachten Kerben 9 versehen und z. B. vorgefertigt sind. Sie können aus einem Thermoplast, z. B. auch wieder aus einem Schaumstoff, bestehen. Zwischen jeder aufeinanderfolgenden Scheiben 8 können z. B. eine oder mehrere ungradzahlige Halbwellen des Faserlichtleiters 1 liegen. Die Scheiben 8, deren Schlitz bzw. Kerben dem Verlauf des Faserlichtleiters angepaßt auch schräg liegen können, sollen so angeordnet werden, daß die Richtung der Kerben 9 abwechselt. Die Scheibenanordnung in Fig. 5 ist nur eine von mehreren möglichen Varianten. Vorrichtungen zur Aufsteckung von Scheiben auf Drähte sind mehrfach bekannt.

FIG. 1

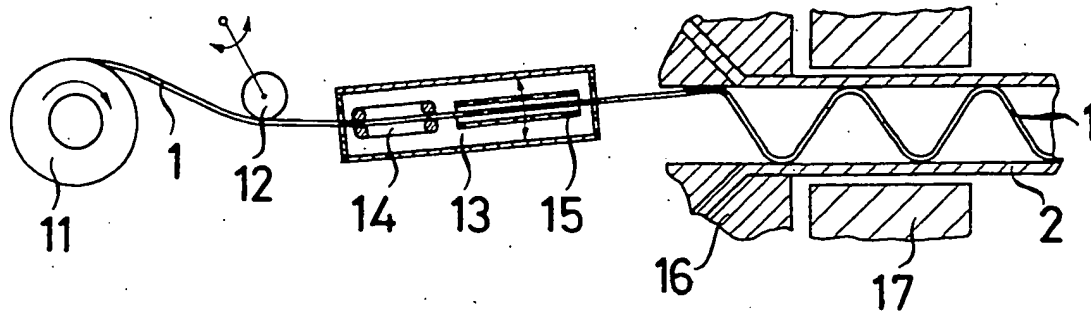


FIG. 2

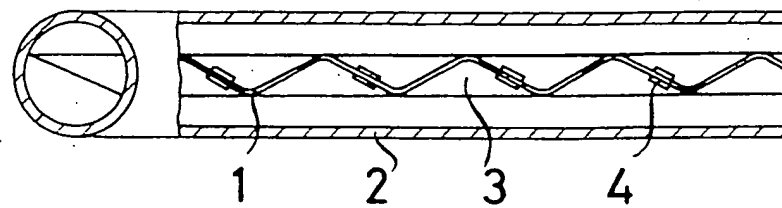


FIG. 3

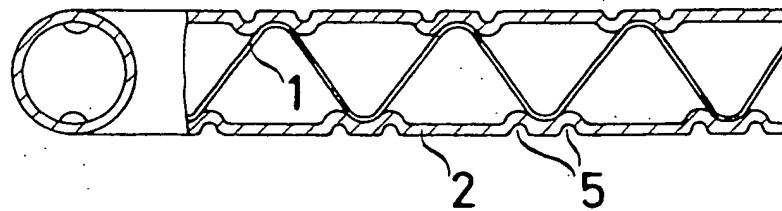


FIG. 4

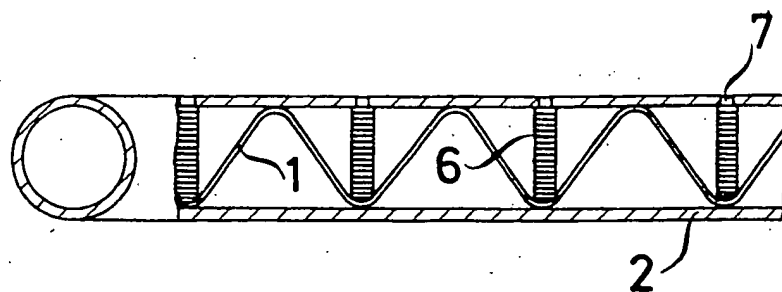
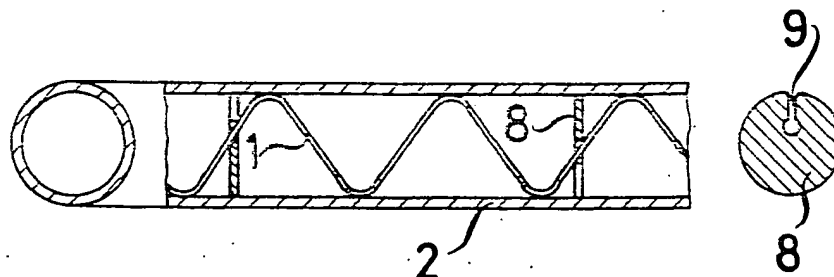


FIG. 5



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**